

Maria SULEWSKA, Rafał KONOPKA

Zakład Geotechniki, Politechnika Białostocka
Division of Geotechnics, Białystok University of Technology

Analiza nośności granicznej podłoża pod stopą fundamentową według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981)

Assessment of bearing capacity of pad foundation based on PN-EN 1997-1 (2008) and PN-81/B-03020 (1981)

Słowa kluczowe: posadowienie bezpośrednie, stany graniczne, nośność podłoża, grunty niespoiste i spoiste

Key words: pad foundation, limit states, bearing capacity, non-cohesive and cohesive soils

Wprowadzenie

Polska norma PN-EN 1997 (2008) składa się z dwóch części: PN-EN 1997-1 (2008) (EC 7-1) oraz PN-EN 1997-2 (2009) (EC 7-2) i jest tłumaczeniem z języka angielskiego Eurokodu 7 (EC 7), czyli normy europejskiej EN 1997:2004, opracowanym i przyjętym przez Polski Komitet Normalizacyjny. Eurokod 7 wraz z Załącznikiem krajowym (NA), zamieszczonym w PN-EN 1997-1 (2008)/Ap2 (2010), jest jednym z 10 Eurokodów (EC), które wraz z odpowiedni-

mi załącznikami krajowymi od kwietnia 2010 roku są podstawowymi normami projektowania obiektów budowlanych. Normę PN-EN 1997 (2008) uzupełniają: grupa norm badań gruntów ISO i EN-ISO, 12 specyfikacji technicznych CEN/TC 34 dotyczących procedur badań laboratoryjnych gruntów oraz zbior 13 norm EN „Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych”.

Projekty konstrukcji geotechnicznych wykonuje się według PN-EN 1997-1 (2008), badania podłoża gruntowego przeprowadza się według PN-EN 1997-2 (2009). Proces wdrażania nowo przyjętych norm do praktyki projektowej jest trudny i długotrwały, ponieważ istnieje potrzeba wyjaśnienia wielu wątpliwości (Pieczyrak 2006, Bond i Harris 2008, Kiziewicz 2009, Wysokiński i in. 2011).

W celu ułatwienia zrozumienia zapisów EC 7-1 często porównuje się je z odpowiadającymi im zapisami normy PN-81/B-03020 (1981) stosowanej w Polsce od 30 lat (Gosk 2010, Garwaka-Piórkowska 2011, Kłosiński 2013).

Celem artykułu jest analiza porównawcza nośności granicznej podłoża zbudowanego z gruntu niespoistego i spoistego obciążonego stopą fundamentową, obliczonej według PN-EN 1997-1 (2008) oraz PN-81/B-03020 (1981).

Obliczenia wykonano metodą stanów granicznych nośności. Jest to najczęściej używana metoda projektowania fundamentów bezpośrednich, połączona ze stosowaniem częściowych współczynników bezpieczeństwa, zalecana w obu analizowanych normach.

Wykonano sprawdzenia dwóch podstawowych stanów granicznych nośności: wypierania gruntu spod fundamentu oraz ścięcia gruntu w poziomie posadowienia fundamentu. Obliczenia wykonano oddzielnie według dwóch systemów norm – PN-EN oraz PN-B.

Sprawdzenie nośności granicznych według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981)

Norma PN-EN 1997-1 (2008) w przypadku fundamentów bezpośrednich wyróżnia następujące stany graniczne nośności: EQU (utrata ogólnej stateczności) i GEO (wyczerpanie nośności, zniszczenie na skutek przebicia lub wypierania, utrata stateczności na skutek przesunięcia lub poślizgu, łączna

utrata stateczności podłoża i zniszczenie konstrukcji, zniszczenie konstrukcji na skutek przemieszczeń fundamentu).

Norma PN-81/B-03020 (1981) w przypadku fundamentów bezpośrednich wyróżnia następujące rodzaje stanów granicznych nośności: wypieranie podłoża przez pojedynczy fundament lub przez całą budowlę, przesunięcie w poziomie posadowienia fundamentu lub w głębszych warstwach podłoża, usuwisko lub zsuw fundamentów albo podłoża wraz z budowlą.

Norma EC 7-1 umożliwia wykorzystanie jednego spośród trzech podejść obliczeniowych przy projektowaniu posadowienia fundamentów. Postanowieniem polskiego Załącznika krajowego (PN-EN 1997-1 (2008)/Ap2 (2010)) przy sprawdzaniu stateczności ogólnej EQU stosuje się podejście 3., przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności GEO należy stosować podejście obliczeniowe 2., wersję 2*. Oznacza to, że obliczenia należy wykonać, przyjmując wszystkie wartości charakterystyczne, a współczynniki częściowe stosować przy sprawdzaniu warunku nośności, tj. opór graniczny podłoża należy wyznaczać ze wzoru 2.7b normy PN-EN 1997-1 (2008), przyjmując wartość współczynnika obciążeń $\gamma_F = 1$. Wartości charakterystyczne oznaczone są symbolami z indeksem „k”, wartości obliczeniowe – z indeksem „d”.

W tabeli 1 pokazano porównanie warunków obliczeniowych stanów granicznych nośności GEO na wypieranie i przesunięcie według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981).

TABELA 1. Sprawdzanie stanów granicznych nośności na wypieranie i przesuńnięcie według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981)
 TABLE 1. Verification of ultimate limit states due to bearing resistance and sliding resistance according PN-EN 1997-1 (2008) and PN-81/B-03020 (1981)

Norma / Standard	PN-EN 1997-1 (2008)	PN-81/B-03020 (1981)
1 Warunek obliczeniowy nośności Assessment of bearing resistance	2 (1) $E_d \leq R_d$ gdzie: $E_d = E_{d1} + E_{d2}$ – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań, E_{d1} – obliczeniowe efekty oddziaływań stałych, E_{d2} – obliczeniowe efekty oddziaływań zmiennych, R_d – wartość obliczeniowa oporu przeciw oddziaływaniu.	3 (2) $Q_r \leq m \cdot Q_f$ gdzie: Q_r – wartość obliczeniowa obciążenia przekazywanego na podłoże, Q_f – wartość obliczeniowa oporu granicznego podłoża, m – współczynnik korekcyjny.
Obliczeniowe efekty oddziaływań Design values of the effect of an action	(3) $E_d = \gamma_E \cdot E \left\{ F_{rep}, \frac{X_k}{\gamma_M}, a_d \right\}$ gdzie: γ_E – współczynnik częściowy do efektów oddziaływań: $\gamma_E = \gamma_G = 1,35$ dla oddziaływań stałych, $\gamma_E = \gamma_Q = 1,50$ dla oddziaływań zmiennych, E – efekty oddziaływań (charakterystyczne wartości obciążeń stałych G i zmiennych Q), F_{rep} – wartość reprezentatywna oddziaływania, X_k – wartość charakterystyczna właściwości materiału (ciężar objętościowy), γ_M – współczynnik częściowy do parametru geotechnicznego (właściwości materiału), a_d – wartość obliczeniowa wielkości geometrycznej.	$Q_r = N_r$, przy wypieraniu: max obliczeniowa siła pionowa z kombinacji obciążeń obliczeniowych stałych i zmiennych, przyjętych według norm PN-B. $Q_r = T_r$, przy przesuńnięciu: max obliczeniowa siła pozioma z kombinacji jak wyżej. Współczynniki obciążeń (γ_f) przyjmują się w zależności od rodzaju obciążenia z normami od PN-82/B-02000 do PN-82/B-02015.

<p>Opory obliczeniowe (podejście obliczeniowe 2*)</p> <p>Design values of bearing resistance (design approach 2*)</p>	$R_d = \frac{R\{\gamma_F \cdot F_{rep}; X_k; a_d\}}{\gamma_R} = \frac{R\{F_{rep}; X_k; a_d\}}{\gamma_R}$ <p>gdzie:</p> <p>R – wartości charakterystyczne oporów (nośności), γ_F – współczynnik częściowy do oddziaływania: $\gamma_F = 1$, γ_R – współczynnik częściowy do oporu lub nośności: $\gamma_{R,v} = 1,4$ przy obliczaniu wypierania, $\gamma_{R,h} = 1,1$ przy obliczaniu przesunięcia.</p> <p>Przy obliczaniu R_d przyjmuje się wartości charakterystyczne parametrów geotechnicznych (ponieważ $\gamma_M = 1,0$) i charakterystyczne wartości oddziaływań (ponieważ $\gamma_F = 1,0$ dla oddziaływań korzystnych), zgodnie z zestawem współczynników częściowych A1 + M1 + R2 według PN-EN 1997-1 (2008)/ApZ (2010).</p>	<p>Do obliczeń nośności przyjmuje się obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych, czyli wartości charakterystyczne pomnożone przez współczynnik materiałowy γ_m: obliczony przy metodzie A określania parametrów gruntu; przy metodzie B lub C – równy $\gamma_m = 0,9$ (1,1).</p>
<p>Nośność podłoża (na wypieranie)</p> <p>Bearing resistance</p>	$V_d \leq R_d$ <p>gdzie:</p> <p>V_d – wartość obliczeniowa obciążenia pionowego V (oddziaływania obliczeniowe stałe G_d + zmienne Q_d), R_d – obliczeniowa wartość oporu granicznego na wypieranie, obliczona według wzorów (16)–(18)</p>	$N_r \leq m \cdot Q_{NB}; N_r \leq m \cdot Q_{NL} \quad (6)$ <p>gdzie:</p> <p>N_r – obliczeniowe obciążenie pionowe, Q_{NB}, Q_{NL} – pionowe składowe obliczeniowe oporu gruntu (gdą siła pozioma T_r działa równoległe do boku B lub boków B i L), obliczone według wzorów (20) i (21), $m = 0,9$ wypieranie gruntu spod fundamentu przy metodzie A lub $m = 0,81$ przy metodzie B lub C</p>

TABELA 1 cd.
TABLE 1 cont.

1	2	3
<p>Nośność na przesuwanie (poślizg) Sliding resistance</p>	<p>(7) $H_d \leq R_d + R_{p,d}$ gdzie: H_d – wartość obliczeniowa obciążenia poziomego H, $R_{p,d}$ – wartość obliczeniowa siły utrzymującej, wywołanej przez parcie gruntu na boczną powierzchnię fundamentu, R_d – obliczeniowy opór graniczny na ściecie w podstawie fundamentu, – w warunkach „z odpływem”: $R_d = \min \left\{ \frac{V'_k \gamma g \delta_k}{\gamma R_{,h}}; 0,4V'_d \right\}$ (9) gdzie: V'_k – suma charakterystycznych wartości sił pionowych przekazywanych na podłoże, V_d – suma obliczeniowych wartości sił pionowych przekazywanych na podłoże, δ_k – charakterystyczna wartość kąta tarcia na styku fundamentu i gruntu, – w warunkach „bez odpływu”: $R_d = \min \left\{ \frac{A_C \cdot c_{u,k}}{\gamma R_{,h}}; 0,4V'_d \right\}$ (12) gdzie: $A_C = A'$ – efektywne pole podstawy, $c_{u,k}$ – charakterystyczna wartość wytrzymałości gruntu na ścinanie „bez odpływu”.</p>	<p>(8) $Q_r \leq m \cdot Q_f$ gdzie: Q_r – wartość obliczeniowa oddziaływania poziomego H, $m = 0,8$ dla metody A lub $m = 0,72$ dla metod B i C, $Q_f = \min \{ T_{r1}; T_{r2}; T_{r3} \}$ (Grabowski i in. 2005) gdzie: $T_{r1} = V_r \cdot f^{(r)}$ (10) gdzie: V_r – obliczeniowa siła pionowa w podstawie fundamentu, $f^{(r)}$ – obliczeniowy współczynnik tarcia fundamentu po gruncie: $f^{(r)} = f^{(n)} \cdot \gamma_m$; $\gamma_m = 0,9$, $T_{r2} = V_r \cdot \text{tg} \varphi_u^{(r)} + A \cdot c_u^{(r)}$ (11) gdzie: $\varphi_u^{(r)}$ – obliczeniowa wartość kąta tarcia wewnętrznego gruntu, A – pole podstawy, $c_u^{(r)}$ – obliczeniowa wartość spójności gruntu, $T_{r3} = V_{r1} \cdot \text{tg} \varphi_u^{(r)} + A \cdot c_u^{(r)}$ (13) gdzie: V_{r1} – obliczeniowa siła pionowa w stropie warstwy słabszej podłoża (o ile warstwa słabsza występuje do głębokości $z \leq B/4$)</p>
<p>Wskaźnik wykorzystania nośności Degree of utilization of bearing resistance or sliding resistance</p>	<p>(14) $A = E_d / R_d$</p>	<p>(15) $A = m \cdot Q_f / Q_r$</p>

**Nośność graniczna podłoża
na wypieranie gruntu
spod fundamentu według
PN-EN 1997-1 (2008) – metoda
analityczna**

Opór graniczny podłoża na wypieranie oblicza się w warunkach „z odpływem” odpowiadającym sytuacji trwałej; warunki „bez odpływu” odpowiadają sytuacji przejściowej. Gdy w podłożu znajdują się grunty niespoiste, należy przeprowadzić obliczenia w warunkach „z odpływem”. Gdy w podłożu zalegają grunty spoiste, należy obliczyć opór graniczny podłoża w warunkach „z odpływem” i „bez odpływu” (Bond i Harris 2008, Wysokiński i in. 2011, Dąbska i Gołębiowska 2012).

Opór graniczny podłoża na wypieranie w sytuacji trwałej (z odpływem) oblicza się ze wzorów (przy podejściu obliczeniowym 2*):

$$R_d = R_k / 1,4 \quad (16)$$

$$R_{kL} = A [c'_k N_c b_c s_c i_c + q'_k N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma'_k L' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma] \quad (17)$$

$$R_{kB} = A [c'_k N_c b_c s_c i_c + q'_k N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma'_k B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma] \quad (18)$$

gdzie:

R_k, R_{kL}, R_{kB} – charakterystyczne wartości oporów granicznych; R_{kL}, R_{kB} opory w kierunku boków L lub B ,
 $A' = B' \cdot L'$ – efektywne pole powierzchni fundamentu, $B' = B - 2e_B, L' = L - 2e_L$,
 e_B, e_L – mimośrodowość działania siły pionowej (charakterystycznej),

γ'_k – charakterystyczna wartość efektywnego ciężaru objętościowego gruntu poniżej poziomu posadowienia,

q'_k – charakterystyczna wartość efektywnego naprężenia od nadkładu w poziomie podstawy fundamentu,

c'_k – charakterystyczna wartość efektywnej spójności gruntu,

N_c, N_q, N_γ – współczynniki nośności obliczone w zależności od charakterystycznej efektywnej wartości kąta tarcia wewnętrznego ϕ'_k ,

b_c, b_q, b_γ – wartości współczynników nachylenia podstawy fundamentu, w zależności od ϕ'_k ,

s_c, s_q, s_γ – wartości współczynników kształtu podstawy fundamentu, w zależności od ϕ'_k ,

i_c, i_q, i_γ – obliczeniowe wartości współczynników nachylenia wypadkowej obciążenia, wywołanego działaniem siły poziomej H równoległej do boku B lub L , w zależności od ϕ'_k i c'_k .

Opór graniczny podłoża na wypieranie w sytuacji przejściowej (bez odpływu) oblicza się ze wzoru (przy podejściu obliczeniowym 2*):

$$R = A [(\pi + 2) \cdot c_{u,k} \cdot b_c \cdot s_c \cdot i_c + q_k] \quad (19)$$

gdzie:

$c_{u,k}$ – charakterystyczna wartość wytrzymałości gruntu na ścinanie bez odpływu,

q_k – charakterystyczna wartość naprężenia od nadkładu lub obciążenia w poziomie podstawy fundamentu,

b_c – wartość współczynnika nachylenia podstawy fundamentu:

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{(\pi + 2)}; \quad \alpha - \text{kąt nachylenia podstawy fundamentu do poziomu,}$$

s_c – współczynnik kształtu fundamentu:

$s_c = 1 + 0,2 \frac{B'}{L'}$ – dla prostokąta, $s_c = 1,2$ – dla kwadratu lub koła,

i_c – współczynnik nachylenia wypadkowej obciążenia, spowodowanego działaniem siły poziomej H równoległej do boku L lub B :

$$i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H_k}{A' \cdot c_{u,k}}} \right), \text{ gdy } H_k \leq A' \cdot c_{u,k}$$

$\cdot c_{u,k}$

Nośność graniczna podłoża na wypieranie gruntu spod fundamentu według PN-81/B-03020 (1981)

Opór graniczny podłoża na wypieranie gruntu spod fundamentu oblicza się według następujących wzorów:

$$Q_{fNB} = \bar{B} \cdot \bar{L} \left[\left(1 + 0,3 \frac{\bar{B}}{L} \right) N_c \cdot c_u^{(r)} \cdot i_c + \left(1 + 1,5 \frac{\bar{B}}{L} \right) N_D \cdot \rho_D^{(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_D + \left(1 - 0,25 \frac{\bar{B}}{L} \right) N_B \cdot \rho_B^{(r)} \cdot g \cdot \bar{B} \cdot i_B \right] \quad (20)$$

$$Q_{fNL} = \bar{B} \cdot \bar{L} \left[\left(1 + 0,3 \frac{\bar{B}}{L} \right) N_c \cdot c_u^{(r)} \cdot i_c + \left(1 + 1,5 \frac{\bar{B}}{L} \right) N_D \cdot \rho_D^{(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_D + \left(1 - 0,25 \frac{\bar{B}}{L} \right) N_B \cdot \rho_B^{(r)} \cdot g \cdot \bar{L} \cdot i_B \right] \quad (21)$$

gdzie:

$$\bar{B} = B - 2e_B, \bar{L} = L - 2e_L,$$

e_B, e_L – mimośrodowość działania siły pionowej (obliczeniowej),

N_C, N_D, N_B – współczynniki nośności, w zależności od wartości obliczeniowej kąta tarcia wewnętrznego $\varphi_u^{(r)}$,

$c_u^{(r)}$ – obliczeniowa wartość oporu spójności gruntu poniżej podstawy fundamentu,

i_C, i_D, i_B – wartości współczynników nachylenia wypadkowej obciążenia poziomego H , działającej w kierunku L lub B , w zależności od $\varphi_u^{(r)}$,

$\rho_D^{(r)}$ i $\rho_B^{(r)}$ – obliczeniowe średnie wartości gęstości objętościowej podłoża powyżej i poniżej (do głębokości B) podstawy fundamentu,

g – przyspieszenie ziemskie.

Porównanie współczynników we wzorach (17)–(21) do obliczania oporów na wypieranie według obu analizowanych norm zamieszczono w tabeli 2.

Charakterystyka obiektu i założenia projektowe

Jako przykładowy obiekt budowlany przyjęto halę magazynową wysokiego składowania, zlokalizowaną w Gdańsku (Konopka 2013). Schemat statyczny hali pokazano na rysunku 1. Wymiary obiektu w planie wynosiły $26,4 \times 36,9$ m. Konstrukcję nośną stanowiły żelbetowe, monolityczne ramy 2-kondygnacyjne, usztywnione wzdłużnie żelbetowymi żebrami, na których opierały się ściany osłonowe (zakotwione w wieńcach żelbetowych), płyty stropodachu oraz stropy międzykondygnacyjne.

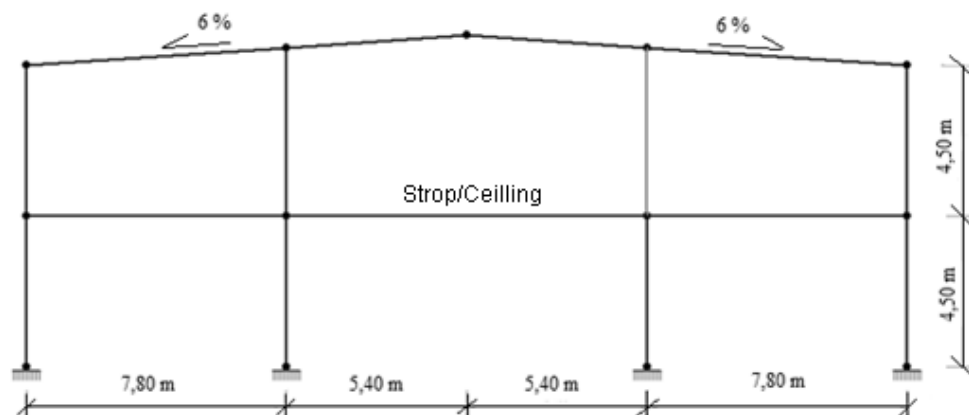
TABELA 2. Porównanie składowych wzorów do obliczania oporu na wypieranie gruntu spod fundamentu według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981) – podejście obliczeniowe 2*

TABLE 2. Comparison of equation components for bearing resistance according PN-EN 1997-1 (2008) and PN-81/B-03020 (1981) – design approach 2*

PN-EN 1997-1 (2008)	PN-81/B-03020 (1981)
1	2
Współczynniki nośności / Dimensionless factors for the bearing resistance	
Wyznaczane ze wzorów:	Wyznaczane ze wzorów:
$N_q = e^{\pi \operatorname{tg} \phi'_k} \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\phi'_k}{2} \right) \quad (22)$	$ND = e^{\pi \operatorname{tg} \phi_u^{(r)}} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_u^{(r)}}{2} \right) \quad (23)$
$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \phi'_k \quad (24)$	$N_c = (N_D - 1) \operatorname{ctg} \phi_u^{(r)} \quad (25)$
$N_\gamma = 2(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi'_k \text{ jeżeli } \delta \geq \phi'_k / 2 \text{ (szorstka podstawa)}$	$N_B = 0,75(N_D - 1) \operatorname{tg} \phi_u^{(r)} \quad (27)$
Brak nomogramów	lub z nomogramów na rys. Z1-1 lub z tab. Z1-1 w zależności od $\phi_u^{(r)}$
Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu / Dimensionless factors for the inclination of the foundation base	
$b_c = b_q - \frac{(1 - b_q)}{N_c \cdot \operatorname{tg} \phi'_k} \quad (28)$	Brak współczynników
$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi'_k)^2 \quad (29)$	
Współczynniki kształtu fundamentu / Dimensionless factors for the shape of foundation	
$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \sin \phi'_k - \text{dla prostokąta} \quad (30)$	$s_D = 1 + 1,5 \frac{\bar{B}}{L} \quad (31)$
$s_q = 1 + \sin \phi'_k - \text{dla kwadratu lub koła} \quad (32)$	$s_c = 1 + 0,3 \frac{\bar{B}}{L} \quad (34)$
$s_c = \frac{S_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1} \quad (33)$	
$S_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B'}{L'} - \text{dla prostokąta} \quad (35)$	$s_B = 1 - 0,25 \frac{\bar{B}}{L} \quad (36)$
$S_\gamma = 0,7 - \text{dla kwadratu i koła} \quad (37)$	

TABELA 2 cd
TABLE 2 cont.

1	2
<p>Współczynniki nachylenia wypadkowej obciążenia, w wyniku działania siły poziomej H / Dimensionless factors for the inclination of the load, caused by a horizontal load H</p>	<p>Brak wzorów – wartości współczynników przyjmuje się z nomogramów na rys. Z1-2 w zależności od φ'_u</p>
$i_q = \left[1 - \left(\frac{H_k}{V_k + A'c'_k \text{ctg} \varphi'_k} \right)^m \right]$	(38)
$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \text{tg} \varphi'_k}$	(39)
$i_\gamma = \left[1 - \left(\frac{H_k}{V_k + A'c'_k \text{ctg} \varphi'_k} \right)^{m+1} \right]$	(40)
$m = m_b = \frac{B'}{1 + \frac{L'}{B'}}$ <p>jeżeli siła H działa w kierunku B'</p>	(41)
$m = m_L = \frac{L'}{1 + \frac{L'}{B'}}$ <p>jeżeli siła H działa w kierunku L'</p>	(42)
<p>jeżeli siła H działa w kierunku tworzącym kąt θ z kierunkiem L': $m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta$</p>	(43)

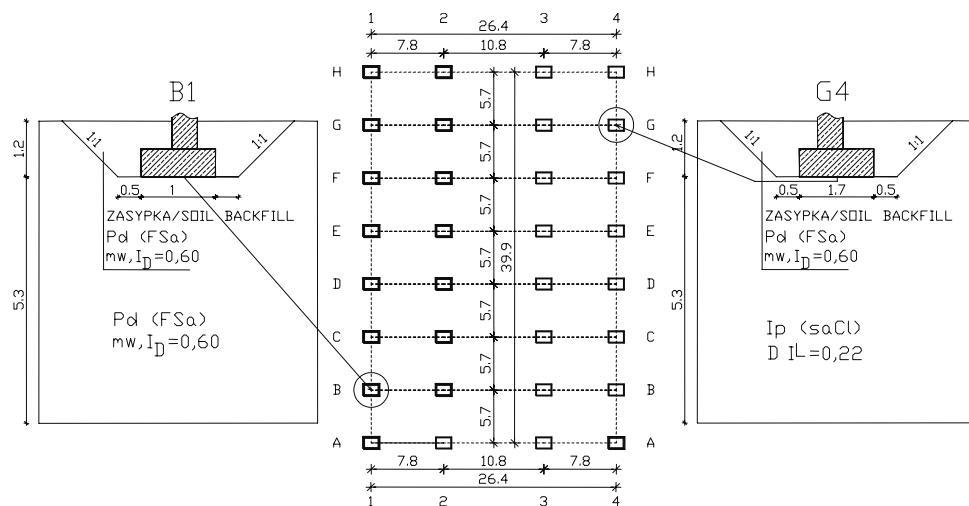


RYSUNEK 1. Schemat statyczny projektowanej hali magazynowej
 FIGURE 1. Static scheme of designed storage hall

Obciążenia składały się z obciążeń stałych (od ciężaru własnego elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych) oraz obciążeń zmiennych (od obciążenia użytkowego stropu równego $5,40 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$, obciążenia śniegiem i wiatrem). Obciążenia przekazywane z konstrukcji na fun-

damenty zebrano odpowiednio według systemów norm PN-EN oraz PN-B.

Analizie poddano dwie wybrane stopy fundamentowe: B1 i G4, jako fundamenty skrajne o takich samych warunkach obciążenia, posadowione w różnych warunkach gruntowych (rys. 2). Obciążenia charakterystyczne w podstawach słupów



RYSUNEK 2. Lokalizacja stóp B1 i G4 na rzucie fundamentów hali magazynowej oraz warunki gruntowe

FIGURE 2. Location of pad foundations B1 and G4 on the scheme of storage hall foundation and geotechnical conditions

B1 i G4 obliczono za pomocą programu komputerowego RM-WIN. Kombinacje obciążeń przekazywanych z konstrukcji na stopy fundamentowe ustalono zgodnie z normami PN-EN 1990 (2004) – wartości charakterystyczne, oraz PN-82/B-02000 (1984) – wartości obliczeniowe. Wybrano najbardziej niekorzystną kombinację obciążeń (tab. 3) ze względu na największy mimośród działania siły pionowej – od obciążeń stałych i zmiennych – $e_L \parallel L$ (po przesunięciu osi fundamentu względem osi słupa o mimośród działania siły pionowej od obciążeń stałych e_s). Przyjęto, że zbadane wartości parametrów geotechnicznych gruntów jednorodnych (bez obecności wód gruntowych), zalegających pod stopami fundamentowymi do głębokości –6,50 m p.p.t., zamieszczono w tabeli 4.

Należy zwrócić uwagę, że obliczeniowe wartości obciążeń: N_d , V_d , T_{dL} , M_{dL} , są większe niż obliczeniowe wartości N_p , V_p , T_{rL} , M_{rL} .

W obliczeniach według PN-81/B-03020 (1981) przyjęto wartości współczynników materiałowych do określania parametrów geotechnicznych równe $\gamma_m = 0,9$ (1,1) i wartości współczynników korekcyjnych $m = 0,81$ (wypieranie) lub $m = 0,72$ (ścięcie w poziomie posadowienia).

Analiza porównawcza oporu granicznego na wypieranie podłoża pod stopami fundamentowymi według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981)

W tabeli 5 pokazano wyniki kolejnych etapów obliczeń według obu norm. Porównanie wielkości obliczonych

TABELA 3. Wartości charakterystyczne i obliczeniowe oddziaływań od konstrukcji na stopy fundamentowe B1 i G4 w najbardziej niekorzystnych kombinacjach obciążeń (obciążenia w poziomie terenu: siły pionowe, N , siły poziome, T , momenty, M ; i siły pionowe, V , w poziomie posadowienia) oraz udział procentowy obciążeń zmiennych w obciążeniach całkowitych ($Zm =$ obciążenia zmienne/obciążenia całkowite, w %)

TABLE 3. Characteristic and design values of actions on pad foundation B1 and G4 from structure for the most unfavourable situation: (at the surface: vertical load, N , horizontal load, T , moments, M and vertical load, V , at foundation level) and ratio of variable actions to permanent actions ($Zm =$ variable actions/permanent actions, in %)

Stopy fundamentowa Pad foundation	PN-EN (Kombinacja obciążeń nr 22) PN-EN (Load combination No. 22)				PN-B (Kombinacja obciążeń nr 24) PN-B (Load combination No. 24)			
	N_k / Zm N_d / Zm [kN] / [%]	V_k / Zm V_d / Zm [kN] / [%]	T_{kL} / Zm T_{dL} / Zm [kN] / [%]	M_{kL} / Zm M_{dL} / Zm [kNm] / [%]	N_n / Zm N_r / Zm [kN] / [%]	V_n / Zm V_r / Zm [kN] / [%]	T_{nL} / Zm T_{rL} / Zm [kN] / [%]	M_{nL} / Zm M_{rL} / Zm [kNm] / [%]
B1	500,24/29 697,10/31	553,02/26 768,36/28	41,28/80 60,14/83	64,98/83 94,56/85	498,10/24 581,64/30	550,88/31 641,76/26	45,80/60 55,78/75	67,58/58 82,69/76
G4	500,24/29 697,10/31	560,48/26 778,43/28	41,28/80 60,14/83	64,98/83 94,56/85	498,10/24 581,64/30	558,34/30 650,30/26	48,80/60 55,78/75	67,58/58 82,69/76

TABELA 4. Wartości charakterystyczne parametrów gruntów w podłożu pod stopami B1 i G4
 TABLE 4. Characteristic values of geotechnical parameters for subsoil under pad foundations B1 and G4

Stopa fundamentowa Pad foundation	Grunt / Soil	Parametr geotechniczny / Geotechnical parameter		
		ρ'_k [t·m ³]	ϕ'_k [°]	$c'_k/c_{u,k}$ [kPa]
B1	Piasek drobny Pd, mw, (FSa)	1,65	31,0	0,0/0,0
G4	Ł piaszczysty Ip, geneza „D”, (saCl)	2,10	24,0	20,0/100,0

TABELA 5. Opór graniczny na wypieranie podłoża niespoistego pod stopą fundamentową B1
 TABLE 5. Bearing resistance of non-cohesive subsoil under pad foundation B1

PN-EN 1997-1 (2008)	PN-81/B-03020 (1981)	Uwagi / Remarks
1	2	3
$L \times B \times h = 1,60 \times 1,30 \times 0,60$ m	$L \times B \times h = 1,60 \times 1,30 \times 0,60$ m	=
$e_s = 0,07$ m	$e_s = 0,07$ m	=
$e_L = 0,10$ m; $e_B = 0,0$	$e_L = 0,13$ m; $e_B = 0,0$	≠
$A' = 1,82$ m ²	$\bar{A} = 1,75$ m ²	$A'/\bar{A} = 1,04$
Współczynniki nośności / Dimensionless factors for the bearing resistance		
$N_c = 32,67$	$N_c = 25,61$	$N_c / N_c = 1,28$
$N_q = 20,63$	$N_D = 14,56$	$N_q / N_D = 1,42$
$N_\gamma = 23,59$	$N_B = 5,38$	$N_\gamma / N_B = 4,38$
Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu ($\alpha = 0$) / Dimensionless factors for the inclination of the foundation base ($\alpha = 0$)		
$b_c = b_q = b_\gamma = 1$	Brak	≠
Współczynniki kształtu / Dimensionless factors for the shape of foundation		
$S_c = 1,50$	$S_c = 1,29$	$S_c / S_c = 1,16$
$S_q = 1,48$	$S_D = 2,46$	$S_q / S_D = 0,60$
$S_\gamma = 0,72$	$S_B = 0,76$	$S_\gamma / S_B = 0,95$
Współczynniki nachylenia obciążenia w kierunku boku B / Factors for the inclination of the load in the direction of B		
$i_c = i_q = i_\gamma = 1$	$i_c = i_D = i_B = 1$	=
Współczynniki nachylenia obciążenia w kierunku boku L / Factors for the inclination of the load in the direction of L		
$i_c = 0,89$	$i_c = 0,82$	$i_c / i_c = 1,09$
$i_q = 0,89$	$i_D = 0,85$	$i_q / i_D = 1,05$
$i_\gamma = 0,83$	$i_B = 0,74$	$i_\gamma / i_B = 1,12$

TABELA 5, cd.
TABLE 5, cont.

1	2	3
Opór graniczny na wypieranie podłoża spod fundamentu w kierunku boku <i>B</i> / Bearing resistance of subsoil under foundation in the direction of <i>B</i>		
$R_{kB} = 1405,76 \text{ kN}$	$Q_{fNB} = 1104,00 \text{ kN}$	$R_{kB} / Q_{fNB} = 1,27$
$R_{kB} / A' = 772,40 \text{ kPa}$	$Q_{fNB} / \bar{A} = 606,59 \text{ kPa}$	$(R_{kB} / A') / (Q_{fNB} / \bar{A}) = 1,27$
$R_{dB} = 1004,11 \text{ kN}$	$m \cdot Q_{fNB} = 894,24 \text{ kN}$	$R_{dB} / (m \cdot Q_{fNB}) = 1,12$
$A_w = V_d / R_{dB} = 0,77$	$A_w = 0,72$	różnica wartości wskaźnika wykorzystania nośności na wypieranie: 0,05
Opór graniczny na wypieranie podłoża spod fundamentu w kierunku boku <i>L</i> / Bearing resistance of subsoil under foundation in the direction of <i>L</i>		
$R_{kL} = 1252,59 \text{ kN}$	$Q_{fNL} = 926,80 \text{ kN}$	$R_{kL} / Q_{fNL} = 1,35$
$R_{kL} / A' = 688,24 \text{ kPa}$	$Q_{fNL} / \bar{A} = 509,23 \text{ kPa}$	$(R_{kL} / A') / (Q_{fNL} / \bar{A}) = 1,35$
$R_{dL} = 894,71 \text{ kN}$	$m \cdot Q_{fNL} = 750,71 \text{ kN}$	$R_{dL} / (m \cdot Q_{fNL}) = 1,19$
$A_w = V_d / R_{dL} = 0,86$	$A_w = 0,86$	wartości są sobie równe

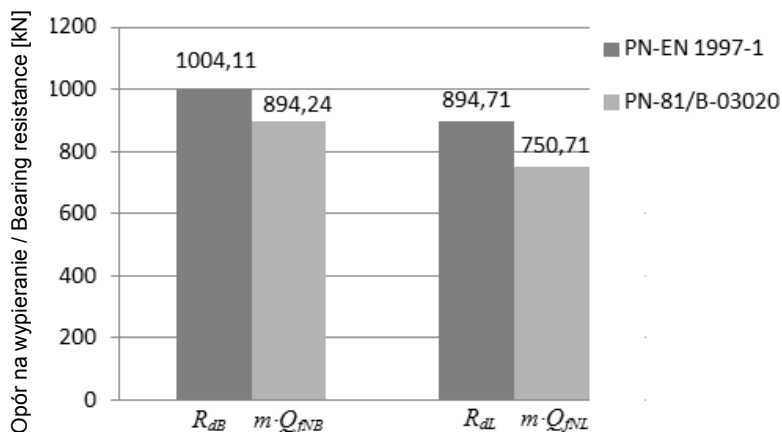
oporów na wypieranie gruntu spod stopy B1, o wymiarach $1,60 \times 1,30 \times 0,60 \text{ m}$, posadowionej na gruncie niespoistym, pokazano na rysunku 3. Większe wartości oporów na wypieranie uzyskano z obliczeń według PN-EN 1997-1 (2008) niż według PN-81/B-03020 (1981). Mimo obserwowanych różnic wielkości uzyskanych oporów granicznych, równych 12 i 19%, wartość wskaźnika wykorzystania nośności na wypieranie jest podobna i wynosi: 0,77 i 0,72 oraz 0,86 i 0,86 (tab. 5).

W tabeli 6 zamieszczono wyniki obliczeń oporu granicznego na wypieranie gruntu spoistego spod stopy G4 o wymiarach $1,70 \times 1,40 \times 0,60 \text{ m}$ w warunkach z odpływem. W tabeli 7 pokazano wyniki obliczeń oporu na wypieranie w warunkach bez odpływu. Na rysunku 4 porównano wartości oporów na wypieranie obliczone według obu norm. Obserwuje się pewne różnice w uzyskanych wielkościach oporów. Największe

wartości mają opory obliczone według PN-EN 1997-1 (2008) – w warunkach z odpływem, a następnie według PN-81/B-03020 (1981). Opór gruntu na wypieranie obliczony według PN-EN 1997-1 (2008) – w warunkach bez odpływu, ma wartość najmniejszą. Wartości wskaźnika wykorzystania nośności na wypieranie gruntu wynoszą odpowiednio: 0,54 i 0,51 oraz 0,59 i 0,62 – warunki z odpływem, oraz 0,82 i 0,86 – warunki bez odpływu (tab. 6 i 7).

Analiza porównawcza oporu granicznego podłoża na przesunięcie pod stopą fundamentową według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981)

W tabeli 8 zamieszczono wyniki obliczeń oporu granicznego gruntu niespoistego na przesunięcie pod stopą B1. Na rysunku 5a pokazano wartości oporów



RYSUNEK 3. Porównanie oporu na wypieranie stopy B1 posadowionej na gruncie niespoistym według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981)

FIGURE 3. Comparison of bearing resistance of non-cohesive subsoil under pad foundation B1, according PN-EN 1997-1 (2008) and PN-81/B-03020 (1981)

TABELA 6. Opór graniczny na wypieranie podłoża spoiwego stopy fundamentowej G4 – warunki z odpływem

TABLE 6. Bearing resistance of cohesive subsoil under pad foundation G4 – drained condition

PN-EN 1997-1 (2008)	PN-81/B-03020 (1981)	Uwagi / Remarks
1	2	3
$L \times B \times h = 1,70 \times 1,40 \times 0,60$ m	$L \times B \times h = 1,70 \times 1,40 \times 0,60$ m	=
$e_s = 0,07$ m	$e_s = 0,07$ m	=
$e_L = 0,10$ m; $e_B = 0,0$	$e_L = 0,125$ m; $e_B = 0,0$	≠
$A' = 2,11$ m ²	$\bar{A} = 2,03$ m ²	$A' / \bar{A} = 1,04$
Współczynniki nośności / Dimensionless factors for the bearing resistance		
$N_c = 19,32$	$N_c = 16,45$	$N_c / N_c = 1,17$
$N_q = 9,60$	$N_D = 7,51$	$N_q / N_D = 1,28$
$N_\gamma = 7,66$	$N_B = 1,93$	$N_\gamma / N_B = 3,97$
Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu ($\alpha = 0$) / Dimensionless factors for the inclination of the foundation base ($\alpha = 0$)		
$b_c = b_q = b_\gamma = 1$	Brak	≠
Współczynniki kształtu / Dimensionless factors for the shape of foundation		
$S_c = 1,42$	$S_c = 1,29$	$S_c / S_c = 1,10$
$S_q = 1,38$	$S_D = 2,45$	$S_q / S_D = 0,56$
$S_\gamma = 0,72$	$S_B = 0,76$	$S_\gamma / S_B = 0,95$

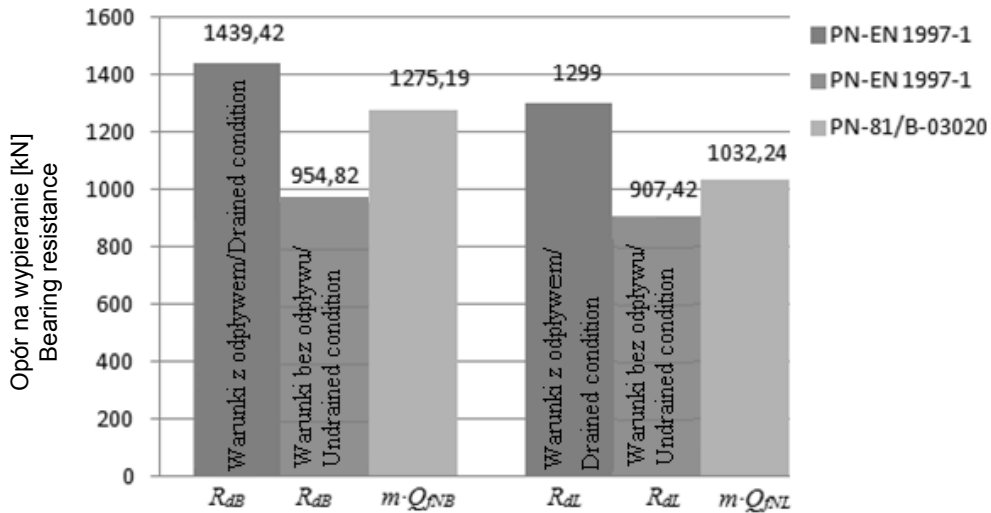
TABELA 6, cd.
TABLE 6, cont.

1	2	3
Współczynniki nachylenia obciążenia w kierunku boku <i>B</i> / Factors for the inclination of the load in the direction of <i>B</i>		
$i_c = i_q = i_\gamma = 1$	$i_c = i_D = i_B = 1$	=
Współczynniki nachylenia obciążenia w kierunku boku <i>L</i> / Factors for the inclination of the load in the direction of <i>L</i>		
$i_c = 0,90$	$i_c = 0,75$	$i_c / i_c = 1,20$
$i_q = 0,91$	$i_D = 0,88$	$i_q / i_D = 1,03$
$i_\gamma = 0,85$	$i_B = 0,72$	$i_\gamma / i_B = 1,18$
Opór graniczny na wypieranie podłoża spod fundamentu w kierunku boku <i>B</i> / Bearing resistance of subsoil under foundation in the direction of <i>B</i>		
$R_{kB} = 2015,18 \text{ kN}$	$Q_{fNB} = 1574,31 \text{ kN}$	$R_{kB} / Q_{fNB} = 1,28$
$R_{kB} / A' = 956,62 \text{ kPa}$	$Q_{fNB} / \bar{A} = 777,84 \text{ kPa}$	$(R_{kB} / A') / (Q_{fNB} / \bar{A}) = 1,23$
$R_{dB} = 1060,79 \text{ kN}$	$m \cdot Q_{fNB} = 1045,49 \text{ kN}$	$R_{dB} / (m \cdot Q_{fNB}) = 1,02$
$A_w = V_d / R_{dB} = 0,54$	$A_w = 0,51$	różnica wartości wskaźników wykorzystania nośności na wypieranie: 0,03
Opór graniczny na wypieranie podłoża spod fundamentu w kierunku boku <i>L</i> / Bearing resistance of subsoil under foundation in the direction of <i>L</i>		
$R_{kL} = 1818,59 \text{ kN}$	$Q_{fNL} = 1274,37 \text{ N}$	$R_{kL} / Q_{fNL} = 1,43$
$R_{kL} / A' = 863,29 \text{ kPa}$	$Q_{fNL} / \bar{A} = 629,65 \text{ kPa}$	$(R_{kL} / A') / (Q_{fNL} / \bar{A}) = 1,37$
$R_{dL} = 1299,00 \text{ kN}$	$m \cdot Q_{fNL} = 1032,24 \text{ kN}$	$R_{dL} / (m \cdot Q_{fNL}) = 1,26$
$A_w = V_d / R_{dL} = 0,59$	$A_w = 0,62$	różnica wartości wskaźników wykorzystania nośności na wypieranie: 0,03

na przesunięcie, obliczonych według obu norm, przy czym opór obliczony według PN-EN 1997-1 (2008) ma wartość większą o 45% niż opór obliczony według PN-81/B-03020 (1981), natomiast różnica wartości wskaźnika wykorzystania nośności na przesunięcie jest nieznaczna i wynosi 0,07 (tab. 8).

W tabeli 9 zamieszczono wyniki obliczeń oporu granicznego gruntu na przesunięcie pod stopą G4 w warunkach z odpływem oraz bez odpływu. Na rysunku 5b pokazano wartości oporów

na przesunięcie, obliczone według obu norm. Największą wartość ma opór obliczony według PN-EN 1997-1 (2008) – w warunkach z odpływem, następnie – w warunkach bez odpływu; najmniejszą wartość otrzymano według PN-81/B-03020 (1981). Wartości wskaźnika wykorzystania nośności na przesunięcie wynoszą: 0,27 – warunki z odpływem, oraz 0,31 i 0,46 – warunki bez odpływu (tab. 9).



RYSUNEK 4. Porównanie oporu na wypieranie stopy G4, posadowionej na gruncie spoiwym według PN-EN 1997-1 (2008) – w warunkach z odpływem i w warunkach bez odpływu, oraz według PN-81/B-03020 (1981)

FIGURE 4. Comparison of bearing resistance of cohesive subsoil under pad foundation G4 according PN-EN 1997-1 (2008) – drained condition and undrained condition, and according PN-81/B-03020 (1981)

TABELA 7. Opór graniczny na wypieranie podłoża spoiwego pod stopą fundamentową G4 – warunki bez odpływu, według PN-EN 1997-1 (2008)

TABLE 7. Bearing resistance of cohesive subsoil under pad foundation G4 – undrained condition, according PN-EN 1997-1 (2008)

PN-EN 1997-1 (2008) – Warunki bez odpływu / Undrained condition	
$L \times B \times h = 1,70 \times 1,40 \times 0,60$ m	
$e_s = 0,07$ m	
$e_L = 0,10$ m; $e_B = 0,0$	
$A' = 2,11$ m ²	
Współczynniki nachylenia podstawy fundamentu ($\alpha = 0$) / Dimensionless factors for the inclination of the foundation base ($\alpha = 0$)	
$b_c = 1$	
Współczynniki kształtu / Dimensionless factors for the shape of foundation	
$s_c = 1,19$	
Współczynniki nachylenia obciążenia w kierunku B / Factors for the inclination of the load in the direction of B	
$i_c = 1$	
Współczynniki nachylenia obciążenia w kierunku L / Factors for the inclination of the load in the direction of L	
$i_c = 0,95$	

TABELA 7, cd.

TABLE 7, cont.

Obciążenie (naprężenia) w poziomym posadowieniu / Load (stress) at foundation level
$q = 24,72 \text{ kPa}$
Opór graniczny na wypieranie podłoża pod fundamentem w kierunku B / Bearing resistance of subsoil under foundation in the direction of B
$R_{kB} = 1336,74 \text{ kN}$
$R_{kB} / A' = 634,55 \text{ kPa}$
$R_{dB} = 954,82 \text{ kN}$
$A_w = V_d / R_{dB} = 0,82$
Opór graniczny na wypieranie podłoża pod fundamentem w kierunku L / Bearing resistance of subsoil under foundation in the direction of L
$R_{kL} = 1270,38 \text{ kN}$
$R_{kL} / A' = 603,05 \text{ kPa}$
$R_{dL} = 907,42 \text{ kN}$
$A_w = V_d / R_{dL} = 0,86$

TABELA 8. Opór graniczny podłoża na przesunięcie pod fundamentem B1

TABLE 8. Sliding resistance of cohesive subsoil under pad foundation B1

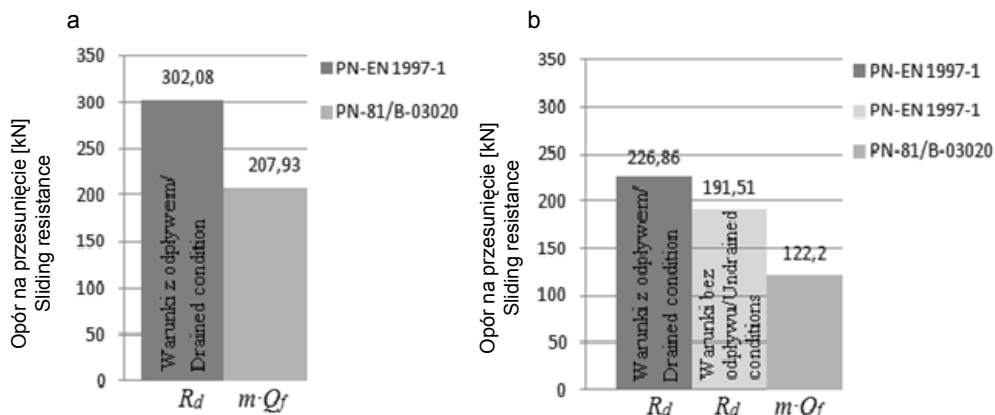
PN-EN 1997-1 (2008) – warunki z odpływem / drained condition	PN-81/B-03020	Uwagi / Remarks
$V_k = 553,02 \text{ kN}$	$V_r = 641,76 \text{ kN}$	\neq
Współczynnik tarcia fundamentu o grunt / Coefficient of friction between foundation and soil		
$\text{tg} \delta_k = \text{tg} \phi'_k = \text{tg} 31^\circ = 0,60$	$f^{(n)} = 0,50$ $f^{(r)} = 0,45$ wg PN-83/B-03010 (1993)	$\text{tg} \delta_k / f^{(r)} = 1,33$
Opór graniczny na przesunięcie gruntu pod fundamentem / Sliding resistance under pad foundation		
$R_{d1} = 302,08 \text{ kN min}$ $R_{d2} = 307,34 \text{ kN}$ cz. 1 i 2 wzoru 9	$m \cdot Q_{\rho 1} = 207,93 \text{ kN min}$ (T_{r1} wg wzoru 10) $m \cdot Q_{\rho 2} = 244,65 \text{ kN}$ (T_{r2} wg wzoru 11)	$R_{d1} / (m \cdot Q_{\rho 1}) = 1,45$ $R_{d2} / (m \cdot Q_{\rho 2}) = 1,26$
$A_p = H_d / R_d = 0,20$	$A_p = T_r / m \cdot Q_f = 0,27$	różnica wartości wskaźnika wykorzystania nośności na przesunięcie: 0,07

Wnioski

Na podstawie przedstawionych obliczeń nośności stóp fundamentowych przenoszących obciążenia stałe i zmienne, posadowionych w prostych warun-

kach gruntowych, można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Przy analizie porównawczej obliczeń stanów granicznych nośności fundamentów według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981) trudno wnioskować o ostatecznym wyniku



RYSUMEK 5. Porównanie oporu na przesunięcie gruntu pod stopami według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981): a – B1 (na gruncie niespoistym), b – G4 (na gruncie spoistym)
 FIGURE 5. Comparison of sliding resistance under pad foundations according PN-EN 1997-1 (2008) and PN-81/B-03020 (1981): a – B1 (on non-cohesive subsoil), b – G4 (on cohesive subsoil)

TABELA 9. Opór graniczny podłoża na przesunięcie pod fundamentem G4
 TABLE 9. Sliding resistance under pad foundation G4

PN-EN 1997-1 (2008)	PN-81/B-03020 (1981)	Uwagi / Remarks
Warunki z odpływem / Drained condition		
$V_k = 560,48 \text{ kN}$		
$\text{tg} \delta'_k = \text{tg} \phi'_k = \text{tg} 24^\circ = 0,445$ $c'_k = 0 \text{ kPa}$		
Opór graniczny gruntu na przesunięcie pod fundamentem / Sliding resistance under pad foundation		
$R_d = 226,86 \text{ kN}$		
$A_p = H_d / R_d = 0,27$		
Warunki bez odpływu / Undrained condition		
$V_k = 560,28 \text{ kN}$	$V_r = 650,30 \text{ kN}$	≠
$A_c = A' = 2,11 \text{ m}^2$ $\phi'_k = 0^\circ$ $c_{u;k} = 100 \text{ kPa}$	$f^{(n)} = 0,29; f^{(r)} = 0,26$ wg PN-83/ /B-03010 (1993) $\text{tg} \phi^{(r)} = \text{tg} 21,6^\circ = 0,40$ $c^{(r)} = 18 \text{ kPa}$	≠
Współczynnik tarcia fundamentu o grunt / Coefficient of friction between foundation and soil		
–		–
Opór graniczny na przesunięcie gruntu pod fundamentem / Sliding resistance under pad foundation		
$R_{d1} = 191,51 \text{ kN min}$ $R_{d2} = 311,37 \text{ kN}$ według wzoru (12)	$m \cdot Q_{f1} = 122,20 \text{ kN min}$ (T_{r1} wg wzoru 10) $m \cdot Q_{f2} = 216,23 \text{ kN}$ (T_{r2} wg wzoru 11)	$R_{d1} / (m \cdot Q_{f1}) = 1,57$ $R_{d2} / (m \cdot Q_{f2}) = 1,44$
$A_p = H_d / R_d = 0,31$	$A_p = T_r / m \cdot Q_f = 0,46$	różnica wartości wskaźnika wykorzystania nośności na przesunięcie: 0,15

projektowania na podstawie porównania tylko wartości obciążeń lub oporów granicznych.

2. Mimo większych wartości obliczeniowych obciążeń oraz większych wartości oporów granicznych na wypieranie i na przesunięcie, uzyskanych według PN-EN niż według PN-B, ostateczne wymiary stóp fundamentowych otrzymuje się podobne.

3. Kryterium, na którego podstawie przeprowadzono porównania efektów obliczeń według dwóch systemów norm, był wskaźnik wykorzystania nośności. Różnice wartości wskaźnika wykorzystania nośności były nieznaczne i wynosiły od 0 do 0,05 przy sprawdzaniu warunku na wypieranie (z odpływem) oraz 0,07 i 0,15 przy sprawdzaniu warunku na przesunięcie, odpowiednio: stopy posadowionej na gruncie niespoistym i na gruncie spoistym.

4. Analizując wyniki obliczeń, można stwierdzić, że zastosowanie obu systemów norm prowadzi do podobnych efektów projektowania stóp fundamentowych w prostych warunkach gruntowych.

Literatura

- BOND A., HARRIS A. 2008: Decoding Eurocode 7. Taylor & Francis Group, London – New York.
- DĄBSKA A., GOŁĘBIEWSKA A. 2012: Podstawy geotechniki. Zadania według Eurokodu 7. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- GARWACKA-PIÓRKOWSKA S. 2011: Porównanie obliczeniowych nośności jednostkowych gruntów pod ławami i stopami fundamentowymi według PN-EN 1997-1 i PN-81/B-03020. *Inżynieria i Budownictwo* 1: 17–21.
- GOSK W. 2010: Nośność podłoża gruntowego pod ławą fundamentową według Eurokodu 7 oraz PN-81/B-03020. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska* 2 (1): 127–130.
- GRABOWSKI R., PISARCZYK S., OBRYSKI M. 2005: Fundamentowanie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- KIZIEWICZ D. 2009: Analiza nośności podłoża z gruntów spoistych obciążonego mimośrodowo fundamentem bezpośrednim według Eurokodu 7 – rozwiązanie przykładu 2.2 ETC 10. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 4 (46): 67–76.
- KŁOSIŃSKI B. 2013: Wdrażanie w Polsce i przyszłość Eurokodu 7 „Projektowanie geotechniczne”. *Inżynieria i Budownictwo* 3: 124–127.
- KONOPKA R. 2013: Analiza porównawcza projektowania posadowienia bezpośredniego stopy fundamentowej według PN-EN 1997-1:2008 i PN-81/B-03020. Praca dyplomowa inżynierska. Maszynopis. Politechnika Białostocka, Białystok.
- PIECZYRAK J. 2006: Nośność graniczna podłoża gruntowego według PN-81/B-03020 i EUROKODU 7. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej – Budownictwo* 28: 2: 197–211.
- PN-81/B-03020:1981 Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-82/B-02000:1984 Obciążenia budowli. Zasady ustalania wartości.
- PN-83/B-03010:1993 Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1990:2004 Eurokod – Podstawy projektowania konstrukcji.
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-1:2008/Ap2: 2010 Poprawka do polskiej normy – dotyczy PN-EN 1997-1:2008.
- PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- WYSOKIŃSKI L., KOTLIICKI W., GODLEWSKI T. 2011: Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. Poradnik. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.

Streszczenie

Analiza nośności granicznej podłoża pod stopą fundamentową według PN-EN 1997-1 (2008) i PN-81/B-03020 (1981). Celem artykułu była analiza porównawcza nośności granicznych podłoża z gruntu niespoistego i spoistego, obciążonych stopą fundamentową, obliczonych według PN-EN 1997-1 (2008) oraz PN-81/B-03020 (1981). Wykonano sprawdzenia dwóch podstawowych stanów granicznych nośności: wypierania gruntu spod fundamentu oraz ścięcia gruntu w poziomie posadowienia fundamentu. Obliczenia wykonano kompleksowo według systemów norm PN-EN oraz PN-B (zebranie obciążeń oraz sprawdzenie stanów granicznych nośności podłoża). Stopy fundamentowe miały wymiary: $1,6 \times 1,3 \times 0,6$ m na gruncie niespoistym oraz $1,7 \times 1,4 \times 0,6$ m na gruncie spoistym. Wartości wskaźnika wykorzystania nośności na wypieranie podłoża spod fundamentów o tych samych obciążeniach od konstrukcji, obliczone według dwóch norm, są zbliżone do siebie i wynoszą według PN-EN i PN-B odpowiednio: 0,77 i 0,72; 0,86 i 0,86 dla gruntów niespoistych oraz 0,54 i 0,51; 0,59 i 0,62 dla gruntów spoistych (w warunkach z odpływem). Dla gruntów spoistych w warunkach bez odpływu wskaźnik wykorzystania nośności na wypieranie wynosi odpowiednio 0,82 i 0,86. Wartości wskaźnika wykorzystania nośności na przesunięcie obliczone według dwóch systemów norm wynoszą według PN-EN i PN-B odpowiednio: dla gruntów niespoistych 0,20 i 0,27 a dla gruntów spoistych – 0,27 (w warunkach z odpływem) oraz 0,31 i 0,46 (w warunkach bez odpływu). Wynika stąd wniosek, że zastosowanie obu systemów norm prowadzi do podobnych efektów projektowania stóp fundamentowych w prostych warunkach gruntowych.

Summary

Assessment of bearing capacity of pad foundation based on PN-EN 1997-1 (2008) and PN-81/B-03020 (1981). The purpose of this paper was a comparative analysis of the bearing capacity of the non-cohesive and cohesive subsoils loaded by pad foundation calculated in accordance with PN-EN 1997-1 (2008) and PN-81/B-03020 (1981). The analysis was carried out for verification of ultimate limit states due to bearing resistance and sliding resistance for pad foundation on non-cohesive and cohesive subsoil. The calculations were performed using standards PN-EN and PN-B (to collect loads and assess the ultimate limit states). Pad foundations have dimensions: $1.6 \times 1.3 \times 0.6$ m on the non-cohesive subsoil and $1.7 \times 1.4 \times 0.6$ m for the cohesive subsoil. Degree of utilization of bearing resistance for subsoil under the foundations of the same load and, calculated according to two standards are similar and amount to according to PN-EN and according to PN-B: 0.77 and 0.72; 0.86 and 0.86 for non-cohesive subsoil, 0.54 and 0.51; 0.59 and 0.62 for cohesive subsoil (in drained condition). For cohesive subsoil in undrained condition the degrees of utilization of bearing resistance are 0.82 and 0.86. Degree of utilization of sliding resistance calculated using two standards PN-EN and PN-B: are respectively 0.20 and 0.27 for non-cohesive subsoil and 0.27 for cohesive subsoil (in drained condition) and 0.31 and 0.46 for cohesive subsoil (in undrained condition).

Authors' addresses:

Maria Jolanta Sulewska
Politechnika Białostocka
Zakład Geotechniki
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
Poland
e-mail: m.sulewska@pb.edu.pl

Rafał Konopka
Świdry Dobrzyce 8
18-507 Grabowo
Poland
e-mail: rafiki150011@gmail.com